

(51) 国際特許分類7
H01L 21/027, G03F 7/20

A1

(11) 国際公開番号

WO00/55890

(43) 国際公開日

2000年9月21日(21.09.00)

(21) 国際出願番号 PCT/JP00/01643

(22) 国際出願日 2000年3月17日(17.03.00)

(30) 優先権データ
特願平11/73657 1999年3月18日(18.03.99) JP(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)
株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP]
〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル
Tokyo, (JP)

(72) 発明者 ; および

(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ)

石川 旬(ISHIKAWA, Jun)[JP/JP]
〒100-8331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 富士ビル
株式会社 ニコン 知的財産部内 Tokyo, (JP)

(74) 代理人

恩田博宣(ONDA, Hironori)

〒500-8731 岐阜県岐阜市大宮町2丁目12番地の1 Gifu, (JP)

(81) 指定国 AE, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, CA, CH, CN, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, NO, NZ, PL, PT, RO, RU, SD, SE, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZW, 欧州特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), ARIPO特許 (GH, GM, KE, LS, MW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM)

添付公開書類

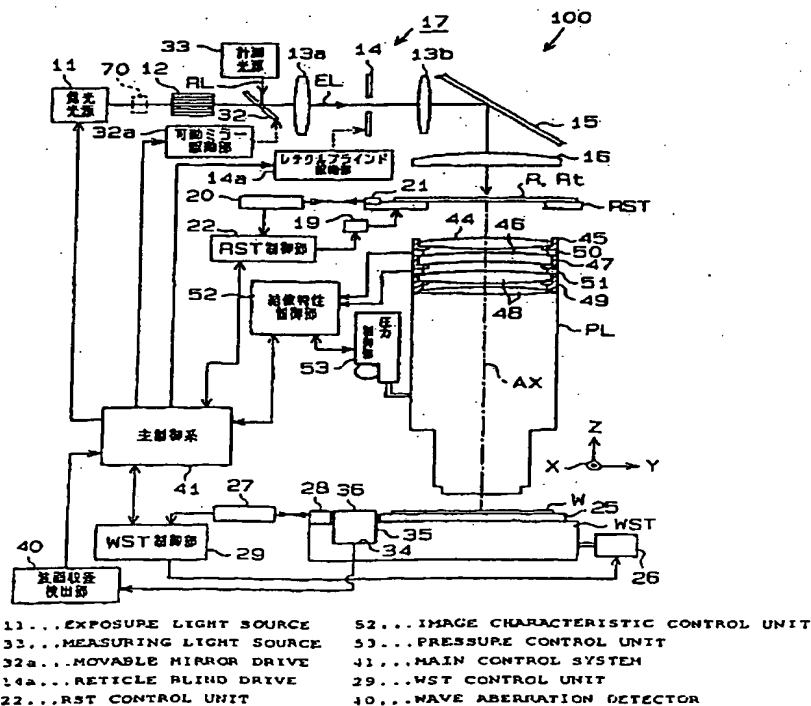
国際調査報告書

(54) Title: EXPOSURE SYSTEM AND ABERRATION MEASUREMENT METHOD FOR ITS PROJECTION OPTICAL SYSTEM, AND PRODUCTION METHOD FOR DEVICE

(54) 発明の名称 露光装置及びその投影光学系の収差計測方法、並びにデバイスの製造方法

(57) Abstract

An exposure system capable of measuring quickly and accurately an aberration of a projection optical system, wherein a measuring light source (33) for emitting a measuring light (RL) having a power smaller than that of an exposure light (EL) is provided. A pinhole-carrying test reticle is mounted on a reticle stage (RST) and the measuring light is passed through the pinhole to produce a spherical wave in the measuring light (RL). This spherical wave-carrying measuring light is passed through the projection optical system (PL) and received by a wave aberration measuring unit (35) of a Jack-Hartman method disposed on a wafer stage (WST) to determine an aberration (wave aberration) of the projection optical system (PL) at a wave aberration detector (40). Based on the measured wave aberration, image characteristics of the projection optical system (PL) is adjusted.



(5.7)要約

投影光学系の収差を迅速かつ高精度に計測可能な露光装置。露光光E Lよりも小さなパワーを有する計測光R Lを出射する計測光源3 3が設けられる。レチクルステージR S T上にピンホールを有するテストレチクルを載置し、このピンホールを通過させることにより計測光R Lに球面波を発生させる。この球面波を有する計測光を、投影光学系P Lを通過させ、ウェハステージW S T上に配置されたシャック-ハルトマン方式の波面収差計測ユニット3 5で受光し、波面収差検出部4 0にて投影光学系P Lの収差（波面収差）を求める。そして、計測された波面収差に基づいて、投影光学系P Lの結像特性を調整する。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CY	キプロス	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CZ	チェコ	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
DE	ドイツ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DK	デンマーク	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
		KR	韓国	RO	ルーマニア		

明細書

露光装置及びその投影光学系の収差計測方法、並びにデバイスの製造方法

技術分野

本発明は、例えば、半導体素子、液晶表示素子、撮像素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイスの製造プロセスにおけるフォトリソグラフィ工程で使用される露光装置に関し、詳しくは、露光装置の投影光学系の収差計測方法、並びに、マイクロデバイスの製造方法に関する。

背景技術

この種の露光装置では、レチクル、フォトマスク等のマスクパターンを露光光で照明することにより、所定のパターンが投影光学系を介してフォトレジスト等の感光性材料の塗布されたウエハ、ガラスプレート等の基板上に転写される。

半導体素子の高集積化に伴い、回路パターンの一層の微細化が要求される。この要求に対応するため、例えばKrFエキシマレーザ光 ($\lambda = 248 \text{ nm}$)、ArFエキシマレーザ光 ($\lambda = 193 \text{ nm}$)、F₂エキシマレーザ光 ($\lambda = 157 \text{ nm}$) 等のより波長の短い遠紫外パルス光を用いた露光装置も開発されてきている。

露光装置における投影光学系の収差計測は、例えば次のように行われている。つまり、収差測定用のマスクを投影光学系の物体面上に配置し、所定のパターンの像を投影光学系の像面上に配置した基板上に焼き付け、その焼き付けられた像を現像する。そして、現像された像を走査型電子顕微鏡 (SEM) を用いて、像の倍率及び非対称性の度合を計測し、その計測結果に基づいて投影光学系の収差を求める。

ところが、収差計測用のマスクのパターンの製造誤差、フォトレジストの塗布ムラ、現像ムラ等のプロセス誤差により、収差の計測精度が十分に確保できなくなる懸念がある。しかも、SEM観察に際して例えば基板の現像工程等の所定の前処理が必要であり、その収差の計測に多くの時間を要するものであった。

このような、問題を回避するため、例えばShack-Hartman (シャ

ックーハルトマン)方式を用いて、投影光学系の収差を波面収差として計測する方法が考えられる。この方式では、投影光学系を通過した光束をコリメータレンズにて平行光に変換し、その平行光を2次元的に配列された多数のレンズを有するマイクロレンズアレイに入射させる。これにより、平行光は、各レンズ毎に撮像素子上に結像される。

ここで、投影光学系に収差が存在しない場合には、マイクロレンズアレイに入射する平行光は平行な理想波面を有するため、マイクロレンズアレイの各レンズに入射した光束は各レンズの光軸上に結像される。

一方、投影光学系に収差が存在する場合には、マイクロレンズアレイに入射する平行光は収差に応じて歪んだ波面を有するため、平行光は、各レンズ毎にそれぞれ異なる波面の傾きを持つことになる。そして、マイクロレンズアレイの各レンズに入射した光束は各レンズの光軸から波面の傾き量に応じてずれた位置に結像される。このように、各レンズ毎に光束の結像位置の横ずれ量から波面の傾きを求めることにより、投影光学系の収差が計測される。

波面収差の計測には、投影光学系に球面波を有する光を入射させることが前提となる。球面波は、例えば投影光学系の物体面に配置されたマスク上のピンホールマークを垂直に照明することにより発生させることができる。ここで、ピンホールマークをエキシマレーザのパルス光により照明して球面波を発生させると、エキシマレーザ光のピークパワーが大きいため、ピンホールマークを破損するおそれがある。これにより、収差計測の精度を十分に確保できないおそれがある。

本発明の目的は、投影光学系の収差を迅速かつ高精度に計測可能な露光装置及び収差計測方法を提供することにある。

発明の開示

本発明の第1の態様では、マスク(R)上のパターンに露光光を照射してパターンの像を基板(W)上に形成する露光装置が提供される。露光装置はパターンの像を基板上に投影する投影光学系、投影光学系(PL)の収差を計測するための前記露光光とは異なる計測光(RL)を出射する計測光源(33)と、計測光(RL)に所定の波面(SW)を発生させ、その所定の波面を有する計測光を投

影光学系（P L）に入射させる波面発生手段（R t）と、投影光学系（P L）を通過した計測光を受光して、所定の波面に対する投影光学系を通過した計測光の波面の変化に基づいて投影光学系（P L）の収差を計測する計測手段（3 5、4 0）とを備える。

この露光装置では、投影光学系の収差を迅速かつ高精度に計測することができる。また、露光光とは異なる光を計測光として用いるので、波面発生手段の破損が防止される。

この計測光として例えば、計測光（R L）のピークパワーを、露光光（E L）より小さくしたものをを用いることが好ましい。この場合、波面発生手段の破損が確実に防止される。

露光光（E L）はパルス光であり、計測光（R L）は連続光であってもよい。この場合、連続光のピークパワーは所定の波面を有する計測光のそれよりも低いので、露光に必要な照度を確保しつつ、波面発生手段に対するダメージが低減される。

計測光（R L）が露光光（E L）の波長と近接または一致した波長を有する固体レーザ光または固体レーザ光の高調波であってもよい。この場合、計測光の波長と露光光との波長とが近接または一致していることにより、実際の露光条件に即した正確な収差情報が得られる。

波面発生手段（R t）は、投影光学系（P L）の物体面上に配置されたピンホール（P H）を有するマスク（R t）を含んでもよい。この場合、簡単な構成で所定の波面をを発生させることができる。

計測手段は、露光装置本体に対して着脱可能に設けてもよい。この場合、必要な時だけ迅速かつ高精度に投影光学系の収差を計測することができる。

本発明の第2の態様では、マスク（R）上のパターンに露光光を照射してパターンの像を基板（W）上に形成する露光装置の投影光学系（P L）の収差計測方法が提供される。最初に計測光（R L）に所定の波面（S W）を発生させ、その所定の波面を有する計測光を投影光学系（P L）に入射させる。次いで、投影光学系（P L）を通過した計測光に基づいて投影光学系（P L）の収差を計測する。

この計測方法では、投影光学系の収差を迅速かつ高精度に計測することができ

る。また、露光光とは異なる光を計測光として用いるので、波面を発生させるための手段の破損が防止される。

本発明の第3の態様では、デバイスの製造方法が提供される。最初に計測光(RL)に所定の波面(SW)を発生させ、その所定の波面を有する計測光を投影光学系(PL)に入射させる。次いで、投影光学系(PL)を通過した計測光に基づいて投影光学系(PL)の収差を計測し、収差の計測結果に基づいて投影光学系(PL)の結像特性を調整する。そして、マスク(R)上のパターンに露光光を照射して、パターンの像を投影光学系(PL)を介して基板(W)上に形成する。

このデバイスの製造方法では、投影光学系の収差が高精度に計測されるため、投影光学系の結像特性が正確に補正される。これにより、マスク上のパターンの像が高精度に基板上に形成され、デバイスが高精度に製造される。

図面の簡単な説明

図1は、本発明の一実施形態の露光装置の概略構成図。

図2は、図1の露光装置の波面収差計測ユニットの概略構成及び球面波の発生方法の説明図。

図3(a)は投影光学系に収差が存在しない場合における図2の波面収差計測ユニットの波面収差の計測を説明するための図の、図3(b)は投影光学系に収差が存在する場合における図2の波面収差計測ユニットの波面収差の計測を説明するための図。

発明を実施するための最良の形態

以下に、本発明の一実施形態の走査露光型の露光装置100について図1～図3に基づいて説明する。この露光装置100は半導体素子製造に使用され、走査露光と一括露光とが切り換え可能である。

まず、露光装置100について説明する。

図1に示すように、露光光源11は、例えばKrFエキシマレーザ光、ArFエキシマレーザ光、F₂エキシマレーザ光等のパルス露光光ELを出射する。露

露光光E Lは例えば多数のレンズエレメントからなるオプティカルインテグレータとしてのフライアイレンズ1 2に入射し、そのフライアイレンズ1 2の出射面上にはそれぞれのレンズエレメントに対応した2次光源像が形成される。なお、フライアイレンズ1 2の代わりにロッドレンズを使用してもよい。フライアイレンズ1 2から射出した露光光E Lは、リレーレンズ1 3 a、1 3 b、レチクルブラインド1 4、ミラー1 5、コンデンサレンズ1 6を介してレチクルステージR S T上に載置されたマスクとしてのレチクルRに入射する。レチクルRには半導体素子の回路パターンが描かれている。

ここで、フライアイレンズ1 2、リレーレンズ1 3 a、1 3 b、ミラー1 5、コンデンサレンズ1 6の合成系は、フライアイレンズ1 2の射出部近傍に形成される2次光源像をレチクルR上で重畳させ、かつレチクルRを均一な照度で照明する照明光学系1 7を構成している。レチクルブラインド1 4は、その遮光面がレチクルRのパターン面と共役な関係で配置されている。そのレチクルブラインド1 4は、レチクルブラインド駆動部1 4 aにより開閉される複数枚の可動遮光部（例えば2枚のL字型の可動遮光部）を備える。可動遮光部により形成される開口部の大きさ（スリット幅）を調整することにより、レチクルRの照明領域が設定される。

レチクルステージR S Tは、露光光E Lの光軸A Xに垂直な平面内においてレチクルRを2次元方向に微動可能に保持している。また、レチクルステージR S Tは、例えばリニアモータを有するレチクルステージ駆動部1 9により所定の方向（走査方向（Y方向））に移動可能である。レチクルステージR S Tは、レチクルRの全面が少なくとも露光光E Lの光軸A Xを横切ることができる移動ストロークを有している。なお、図1においては、後述する投影光学系P Lの光軸方向をZ方向、投影光学系P Lの光軸及び紙面と直交する方向をX方向、投影光学系P Lの光軸に直交し紙面に沿う方向をY方向とする。

レチクルステージR S Tには、干渉計2 0からのレーザビームを反射する移動鏡2 1が取り付けられている。干渉計2 0によって、レチクルステージR S Tの走査方向の位置が検出され、その位置情報はレチクルステージ制御部2 2に送られる。レチクルステージ制御部2 2は、レチクルステージR S Tの位置情報に基

づいてレチクルステージ駆動部 19 を制御し、レチクルステージ R S T を移動させる。

レチクル R を通過した露光光 E L は、例えば両側テレセントリックな投影光学系 P L に入射する。投影光学系 P L は、そのレチクル R 上の回路パターンを例えば 1/5 あるいは 1/4 に縮小した投影像を、感光性フォトリソグレイが塗布された基板としてのウエハ W 上に形成する。

ウエハ W は、ウエハホルダ 25 を介してウエハステージ W S T 上に保持されている。ウエハホルダ 25 は図示しない駆動部により、投影光学系 P L の最適結像面に対して任意方向に傾斜可能で、かつ投影光学系 P L の光軸 A X 方向 (Z 方向) に微動可能である。また、ウエハステージ W S T は、モータを含むウエハステージ駆動部 26 により、走査方向 (Y 方向) のみならず、走査方向に垂直な方向 (X 方向) にも移動してウエハ上に区画された複数のショット領域に対応できるように構成されている。この構成により、ウエハ W 上の各ショット領域毎に一括露光を繰り返すステップ・アンド・リピート動作と、走査露光を繰り返すステップ・アンド・スキャン動作とが可能である。

ウエハステージ W S T には、干渉計 27 からのレーザビームを反射する移動鏡 28 が取り付けられており、ウエハステージ W S T の X 方向及び Y 方向の位置は干渉計 27 によって検出される。ウエハステージ W S T の位置情報 (または速度情報) はウエハステージ制御部 29 に送られ、ウエハステージ制御部 29 はこの位置情報 (または速度情報) に基づいてウエハステージ駆動部 26 を制御する。

ステップ・アンド・リピート方式では、レチクルブラインド 14 でほぼ正方形状のレチクル R 上の照明領域が整形される。そして、レチクル R とウエハ W とがともに静止した状態で、この照明領域内におけるレチクル R 上の回路パターンの像が、投影光学系 P L を介してウエハ W 上のショット領域に一括投影される。

ステップ・アンド・スキャン方式では、レチクルブラインド 14 で長方形 (スリット) 状のレチクル R 上の照明領域が整形される。この照明領域は、レチクル R の走査方向 (+Y 方向) に対して垂直方向に延びる。レチクル R を所定の速度 V_r で走査することにより、レチクル R 上の回路パターンがスリット状のレチクルブラインド 14 を介してその一端側から他端側に向かって順次照明される。こ

れにより、レチクルR上の回路パターンが、投影光学系PLを介してウエハW上に投影される。

ウエハWはレチクルRとは倒立結像関係にあるため、ウエハWはレチクルRの走査方向とは反対方向（-Y方向）にレチクルRの走査に同期して所定の速度 V_w で走査され、ウエハWのショット領域の全面が露光可能となる。走査速度の比 V_w/V_r は正確に投影光学系PLの縮小倍率に応じて設定され、レチクルR上の回路パターンがウエハW上の各ショット領域上に正確に縮小転写される。

次に、投影光学系PLの波面収差を計測するための構成について説明する。

図1及び図2に示すように、フライアイレンズ12とリレーレンズ13aとの間には、可動ミラー32が配備され、その可動ミラーは、可動ミラー駆動部32aにより露光光ELの光路内に入出する。可動ミラー32の近傍には、計測光RLを出射する計測光源33が配置されている。計測光RLは、露光光ELの波長とほぼ一致する波長を有する連続光である。計測光RLは、露光光ELよりも小さなパワーを有する。

可動ミラー32は、投影光学系PLの収差計測時には露光光ELの光路内に配置され、計測光源33から出射された計測光RLを反射して、その計測光RLを照明光学系17から投影光学系PL内に入射させる。露光時には、可動ミラー32は露光光ELの光路内から退出され、計測光RLはレチクルR上へ照射されない。

連続光としては、例えばDFB半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域または可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（またはエルビウムとイットリビウムとの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、増幅されたレーザ光を非線形光学結晶を用いて紫外光に波長変換することにより得られた高調波を用いることができる。

好ましくは、露光光ELがArFエキシマレーザ光（ $\lambda = 193\text{ nm}$ ）であるとすれば、例えば発振波長が $1.51 \sim 1.59\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内である単一波長レーザから得られる $189 \sim 199\text{ nm}$ の範囲内の8倍高調波を計測光RLとして用いることができる。発振波長が $1.544 \sim 1.553\text{ }\mu\text{m}$ の範囲内の狭帯域から得られる8倍高調波は、ArFエキシマレーザ光とほぼ一致する $193 \sim$

194 nmの範囲内の波長を有するため、計測光RLとしてさらに好ましい。

ウエハステージWST上に形成された凹部34には、投影光学系PLの波面収差を検出するための波面収差計測ユニット35が着脱可能に装着されている。波面収差計測ユニット35は、少なくとも投影領域以上の面積を有する受光面36を有し、その受光面36の高さがウエハWの表面の高さとほぼ一致している。すなわち、受光面36は投影光学系PLの結像面とほぼ一致している。

図2に示すように、波面収差計測ユニット35は、コリメータレンズ37と、マイクロレンズアレイ38と、撮像素子(CCD)39とを備える。コリメータレンズ37は、受光面36を介して入射する光束を平行光PBに変換する。マイクロレンズアレイ38は、2次元的に配列されたマイクロレンズを含み、平行光PBを複数の光束に分割し、その光束が各マイクロレンズによって集光される。CCD39は、2次元CCDであり、受光面36を通過するすべての光束を受光するに十分な面積を有しており、各レンズの集光ポイントの位置(結像位置)を検出する。CCD39は、各集光ポイントの位置に関する信号を波面収差検出部40に対して供給する。

波面収差検出部40は、各集光ポイントの位置の情報に基づいて投影光学系PLの波面収差を算出し、波面収差情報を主制御系41に出力する。主制御系41は露光装置全体の動作を制御する。波面収差計測ユニット35と波面収差検出部40は計測手段を構成する。

次に、投影光学系PLの収差を補正する構成について説明する。

図1に示すように、投影光学系PLにおいて、レチクルRに最も近い第1のレンズエレメント44は第1支持部材45により固定され、第2のレンズエレメント46は第2支持部材47により固定されている。第2のレンズエレメント46より下方のレンズエレメント48は、鏡筒部49に固定されている。第1支持部材45は、伸縮可能な複数(例えば3つで、図1では2つを図示)の第1駆動素子50を介して第2支持部材47に連結されている。その第2支持部材47は、伸縮可能な複数の第2駆動素子51を介して鏡筒部49に連結されている。

各駆動素子50、51は、結像特性制御部52に接続されている。結像特性制御部52には、投影光学系PLの鏡筒部49内のレンズエレメント間の圧力を調

整するための圧力制御部 5 3 が接続されるとともに、主制御系 4 1 が接続されている。

主制御系 4 1 は、波面収差検出部 4 0 からの投影光学系 P L の波面収差の情報に基づいて、結像特性制御部 5 2 に対し、各駆動素子 5 0、5 1 及び圧力制御部 5 3 の駆動を指令する。この制御により、各レンズエレメント 4 4、4 6 の相対位置が変更されるとともに、投影光学系 P L の鏡筒部 4 9 内の圧力が調整され、投影光学系 P L の結像特性が補正される。

なお、本実施形態では、投影光学系の結像特性を補正する場合、レンズエレメントの駆動及びレンズエレメント間の圧力を調整する例について説明したが、レンズエレメントの駆動又はレンズエレメント間の圧力のうちいずれか一方を調整する構成であってもよい。

次に、投影光学系 P L の波面収差の計測方法について説明する。

まず、図 1 及び図 2 に示すように、レチクルステージ R S T 上に波面発生手段としてのテストレチクル R t を載置する。テストレチクル R t には所定の径を有するピンホールパターン P H 又はピンホール P H に相当する開口が形成されている。テストレチクル R t の位置は、ピンホール P H が照明光学系 1 7 及び投影光学系 P L の光軸上に配置されるようにレチクルステージ制御部 2 2 によって調整される。次に、可動ミラー駆動部 3 2 a により可動ミラー 3 2 を露光光 E L の光路内に進入させるとともに、ウエハステージ駆動部 2 6 により波面収差計測ユニット 3 5 の受光面 3 6 を投影光学系 P L の投影領域に対応するように配置する。本実施の形態では、テストレチクル R t 及び波面収差計測ユニット 3 5 によって波面収差測定装置が構成される。

この状態で、計測光源 3 3 から計測光 R L を出射させ、その計測光 R L を可動ミラー 3 2、リレーレンズ 1 3 a、1 3 b、ミラー 1 5、コンデンサレンズ 1 6 を介してテストレチクル R t 上のピンホール P H に照射する。計測光 R L がピンホール P H を通過することにより、計測光 R L は球面波 S W を有する光に変換される。球面波 S W を有する光は投影光学系 P L に入射する。投影光学系 P L に収差が存在する場合には球面波 S W の波面 W F に歪みが生じる。

図 2 及び図 3 に示すように、投影光学系 P L から出射された球面波 S W を有す

る光は、ウェハステージWST上に保持された波面収差計測ユニット35の受光面36に到達し、その波面収差計測ユニット35の内部に入射する。入射した球面波SWを有する光は、コリメータレンズ37により平行光PBに変換される。ここで、投影光学系PLに収差が存在しない場合には、図3(a)に示すように平行光PBの波面WFpnは平面となる。一方、投影光学系PLに収差が存在する場合には、図3(b)に示すように平行光PBの波面WFpaは歪む。

平行光PBは、マイクロレンズアレイ38により、複数の光束に分割されCCD39上に集光される。ここで、図3(a)に示すように、投影光学系PLに収差が存在しない場合には、平行光PBの波面WFpnは平面であるため、平行光PBが各レンズの光軸AXm1に沿って入射する。このため、各レンズの集光スポットFnは、各レンズの光軸AXm1上に存在する。

これに対して、図3(b)に示すように、投影光学系PLに収差が存在する場合には、平行光PBの波面WFpaは歪んでいるため、各レンズにそれぞれ異なる波面の傾きを有する平行光PBが入射する。これに伴って、各レンズの集光スポットFaは、波面の傾きに対する垂線AXp上に存在し、収差の存在しない場合の集光スポットFnに対して横ずれする。この横ずれした各集光スポットFaの位置がCCD39により検出される。

ついで、図1～図3に示すように、波面収差検出部40は、投影光学系に収差がない場合として設計上予め設定された各集光スポット位置Fnと、計測対象となる投影光学系を通過した球面波SWを有する光をコリメータレンズ37、マイクロレンズアレイ38を介して集光した際の実際の各集光スポット位置Faの検出結果とに基づいて、集光スポットFnに対する実際の集光スポット位置Faの横ずれ量を各レンズ毎に求める。その横ずれ量に基づいて投影光学系PLにおける波面収差が計測される。このように求められた投影光学系PLの波面収差情報は、主制御系41を介して結像特性制御部52に供給され、その結像特性制御部52によって投影光学系PLの結像特性が補正される。

このように、投影光学系PLの結像特性が補正されることにより、半導体デバイスを製造するための露光装置を製造することができる。

なお、投影光学系PLの結像特性を補正する時期は、投影光学系の収差測定が

完了してすぐに行ってもよく、またはテストレチクルR_t及び波面収差計測ユニットを露光装置本体から取り外してから行ってもよい。なお、露光装置の製造完了はテストレチクルR_t及び波面収差計測ユニットを露光装置本体から取り外した時点とする。

従って、本実施形態によれば、以下のような効果を得ることができる。

(a) 露光装置100は、露光光E_Lとは異なる計測光R_Lを出射する計測光源33を備えている。投影光学系P_Lの収差を計測する際には、計測光R_Lを有する光をテストレチクルR_tのピンホールP_Hを通過させることにより球面波S_Wを有する光に変換し、その球面波S_Wを有する光が投影光学系P_Lに入射される。そして、投影光学系P_Lを通過した球面波S_Wを有する光の状態に基づいて投影光学系P_Lの収差が波面収差計測ユニット35及び波面収差検出部40により計測される。

このため、投影光学系P_Lの収差を波面収差として計測することができ、収差が迅速かつ高精度に計測される。また、投影光学系P_Lの収差を計測するための球面波S_Wを有する光は露光光E_Lとは異なる計測光R_Lを変換することにより発生される。球面波S_Wを有する光を発生させるためにテストレチクルR_tに照射される光のパワーを露光光E_Lより小さくすることにより、テストレチクルR_t上のピンホールP_Hの破損が防止される。

(b) 計測光R_Lのパワーを露光光E_Lより小さくすることにより、テストレチクルR_tの寿命が延び、長期間にわたる高精度な収差計測が可能になる。

(c) なお、本実施形態の露光装置100においては、露光光E_Lをパルス光とし、計測光R_Lを連続光としてもよい。この場合、計測光R_Lのピークパワーは、露光パルス光E_Lに比べて大幅に下げることができる。従って、露光に必要な照度を確保しつつ、テストレチクルR_tに対するダメージが低減される。

(d) また、本実施形態の露光装置100においては、計測光R_Lとして、露光光E_Lの波長とほぼ一致した波長を有する固体レーザ光の高調波を採用してもよい。この場合、実際の露光条件に即した正確な収差情報を得ることができる。

(e) 本実施形態の露光装置100では、レチクルステージRST上に載置

されたテストレチクルRのピンホールPHを通過させることにより、計測光RLを球面波SWを有する光に変換している。従って、簡単な構成で球面波SWを有する光を発生させることができる。

(f) 本実施形態の露光装置100では、波面収差計測ユニット35がウェハステージWSTに対して着脱可能に設けられている。このため、波面収差計測ユニット35を必要な時だけウェハステージWSTに装着して、迅速かつ高精度に投影光学系PLの収差を計測することができる。従って、露光装置100の簡素化を図ることができる。

(g) 本実施形態の露光装置100は、計測された波面収差に基づいて、投影光学系PLの結像特性を調整する結像特性制御部52を備える。このため、投影光学系PLの波面収差に基づいて、投影光学系PLの結像特性をより正確に補正することができる。従って、レチクルR上の回路パターンを高精度にウェハW上に転写して、半導体素子を高精度に製造することができる。

また、本実施形態の露光装置100は、計測された波面収差に基づいて、投影光学系PLの結像特性を調整する結像特性制御部52を備える。このため、露光装置100を組み立てた後に、テストレチクルRtをレチクルステージRSTに載置すると共に、波面収差計測ユニット35をウェハステージWSTに取り付ける。そして、投影光学系PLを通過した球面波SWを有する光を受光して、前述したように投影光学系PLの波面収差情報を算出する。そして、結像特性制御部52は、求められた波面収差情報に基づいてレンズエレメント44、45の相対位置又はレンズエレメント間の圧力の少なくとも一方を自動調整することにより、所望の結像性能を備える露光装置に調整することが可能となる。このように自動調整することにより、露光装置の組み立て及びその調整を短時間で行うことができる。

なお、本発明の実施形態は、以下のように変更してもよい。

(1) 波面収差計測ユニット35をウェハステージWSTの側面またはコーナ部に形成された切欠部に対して着脱可能に装着してもよい。また、波面収差計測ユニット35をウェハステージWST上に直接またはウェハホルダ25を介して載置してもよい。この場合、投影光学系PLの波面収差の計測に際して、ウェ

ハステージW S Tを露光光E Lの光軸A Xに沿って移動させ、波面計測ユニット3 5の受光面3 6を投影光学系P Lの像面位置に一致させる必要がある。

(2) 計測光源3 3及び可動ミラー3 2を照明光学系1 7に対して着脱可能に装着してもよい。この場合、可動ミラー3 2は、固定式のものであってもかまわない。

更に、本実施形態の露光装置1 0 0において、計測光源3 3及びミラー3 2の代わりに、フライアレンズ1 2と露光光源1 1との間の光路中に減光フィルタ7 0を挿脱可能に配置してもよい。減光フィルタ7 0は投影光学系P Lの収差を計測する場合に、露光光E Lのピークパワーを小さくするために光路中に挿入されることが好ましい。この場合、新たな光源を設ける必要がなく、露光光源1 1をそのまま使用することができる。

(3) 投影光学系P Lの結像特性は、結像特性制御部5 2、各駆動素子5 0、5 1及び圧力制御部5 3により調整する代わりに、例えば各レンズエレメント4 4、4 6、4 8間に厚さの異なるワッシャを選択的に嵌合して調整するようにしてもよい。また、投影光学系P Lを複数に分割された鏡筒内に收容し、各鏡筒間の距離を変更することにより投影光学系P Lの結像特性を調整するようにしてもよい。

(4) 露光光E Lとしてエキシマレーザ光を用いる代わりに、例えば金属蒸気レーザやY A Gレーザの高調波、あるいはg線、h線、i線等の超高圧水銀ランプの輝線等の連続光を採用してもよい。このようにした場合、計測光R Lのパワーを下げることで、ピンホールパターンの耐久性が向上する。

(5) 計測光R LをD F B半導体レーザまたはファイバーレーザの高調波とする代わりに、例えばアルゴンランプ、クリプトンランプ、キセノンランプ等の希ガス放電ランプ、キセノン-水銀ランプ、ハロゲンランプ、蛍光灯、白熱灯、水銀灯、ナトリウムランプ、メタルハライドランプ等から出射される紫外光、可視光または赤外光、またはそれらの光を単波長化した光の高調波、Y A Gレーザ光、金属蒸気レーザ光等の高調波を採用してもよい。

本実施形態では、露光光とは光情報が異なる計測光として、露光光がパルス光であるとき、パルス光よりピークパワーが小さい連続光を用いたり、露光光のピ

ークパワーを減光フィルタを用いて減光することによって得られた光を用いる例について説明した。

本発明は、この構成に限定されるものではなく、テストレチクルに形成されたピンホールPHを通過する計測光のパワーが露光光のパワーより小さければよい。

なお、本実施形態における光情報には、光のパワーだけでなく、光の種類（例えば、パルス光又は連続光）、光の強度、光の照度などが含まれる。

（６）本発明は、露光装置１００のみならず、例えば一括露光のみを行う露光装置に具体化してもよい。また、液晶表示素子、撮像素子、薄膜磁気ヘッド等のマイクロデバイス製造用の露光装置、レチクル等のフォトマスク製造用の露光装置に本発明が適用されてもよい。

（７）投影光学系は、屈折系のレンズに限られず、反射素子（ミラー）や、屈折系のレンズと反射素子とからなる反射屈折系であってもよい。また、投影光学系は、縮小系に限られず、等倍系、拡大系であってもよい。

（８）エキシマレーザなどの遠紫外線を用いる場合は、硝材として石英や螢石などの遠紫外線を透過する材料を用いて投影光学系を構成することが好ましい。なお、照明光学系１７及び投影光学系PLを露光装置本体に組み込んで光学調整を行い、レチクルステージRSTやウエハステージWSTを露光装置本体に取り付けて配線や配管を接続し、さらに総合調整（電気調整、動作確認等）を行うことにより露光装置１００を製造することができる。露光装置１００の製造は、温度及びクリーン度等が管理されたクリーンルームで行うことが望ましい。

（９）半導体デバイスは、デバイスの機能・性能設計を行うステップ、この設計ステップに基づいたレチクルを製作するステップ、シリコン材料からウエハを製作するステップ、露光装置１００によりレチクルのパターンをウエハに露光するステップ、デバイス組み立てステップ（ダイシング工程、ボンディング工程、パッケージ工程を含む）、検査ステップを経て製造される。本発明は上記実施形態に限定されず、また、実施形態及びその各変更例のそれぞれを必要に応じて組み合わせた構成を取ることも可能である。このようにして露光装置を構成しても、上記実施形態とほぼ同様の効果が得られる。

請求の範囲

1. 露光光が照射されたマスクのパターンを基板に転写する投影光学系を有する露光装置であって、

前記投影光学系の収差を計測するための、前記露光光とは光情報が異なる計測光に所定の波面を発生させる波面発生部材と、

前記投影光学系を通過した前記計測光の波面に基づいて前記投影光学系の収差を計測する計測器とを備えることを特徴とする露光装置。

2. 前記光情報として、光のパワーが異なることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の露光装置。

3. 前記計測光のパワーは、前記露光光より小さいことを特徴とする請求の範囲 2 に記載の露光装置。

4. 前記光情報として、光の種類が異なることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の露光装置。

5. 前記露光光はパルス光であり、前記計測光は連続光であることを特徴とする請求の範囲 4 に記載の露光装置。

6. 前記計測光が前記露光光の波長と近接または一致した波長を有する固体レーザ光または固体レーザ光の高調波であることを特徴とする請求の範囲 5 に記載の露光装置。

7. 前記波面発生部材は、前記投影光学系の物体面上に配置されたピンホールを有するマスクを含むことを特徴とする請求の範囲 1 に記載の露光装置。

8. 前記計測器を、露光装置本体に対して着脱可能に設けたことを特徴とす

る請求の範囲 1 に記載の露光装置。

9. 前記計測光の光源は前記露光光を射出する光源であり、
前記計測光は前記露光光のパワーを低下させたパルス光であることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の露光装置。

10. 前記露光光を射出する光源と前記波面発生部材との間の光路中に挿脱可能に配置された減光フィルタを備え、
前記計測光は減光フィルタを通過した光であることを特徴とする請求の範囲 7 に記載の露光装置。

11. 前記計測器で計測された前記投影光学系の収差に基づいて、前記搭載光学系の結像特性を調整する結像特性調整機構を備えることを特徴とする請求の範囲 1 に記載の露光装置。

12. 露光光が照射されたマスクのパターンのパターンを基板上に転写する投影光学系の収差計測方法であって、
前記露光光とは光情報が異なる計測光に所定の波面を発生させる工程と、
前記計測光を前記投影光学系に入射させる工程と、
前記投影光学系を通過した前記計測光の波面に基づいて前記投影光学系の収差を計測する工程とを備えることを特徴とする投影光学系の収差計測方法。

13. 前記露光光と前記計測光とは、前記光情報として、光のパワーが異なることを特徴とする請求の範囲 12 に記載の収差計測方法。

14. 前記計測光のパワーは、前記露光光より小さいことを特徴とする請求の範囲 13 に記載の収差計測方法。

15. 前記露光光と前記計測光とは、前記光情報として、光の種類が異なる

ことを特徴とする請求の範囲 1 2 に記載の収差計測方法。

1 6. 前記露光光はパルス光であり、前記計測光は連続光であることを特徴とする請求の範囲 1 5 に記載の収差計測方法。

1 7. 更に、前記計測工程で計測された前記投影光学系の収差に基づいて、前記投影光学系の結像特性を補正する工程を備えることを特徴とする請求の範囲 1 2 に記載の収差計測方法。

1 8. 露光光が照射されたマスクのパターンのパターンを投影光学系を用いて基板上に転写するデバイスの製造方法であって、
前記露光光とは光情報が異なる計測光に所定の波面を発生させる工程と、
前記計測光を前記投影光学系に入射させる工程と、
前記投影光学系を通過した前記計測光の波面に基づいて前記投影光学系の収差を計測する工程と、
計測された収差に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する工程と、
結像特性が調整された前記投影光学系を用いて、前記パターンの像を前記基板上に転写する工程とを備えることを特徴とするデバイスの製造方法。

1 9. 前記露光光と前記計測光とは、前記光情報として、光のパワーが異なることを特徴とする請求の範囲 1 8 に記載のデバイスの製造方法。

2 0. 前記計測光のパワーは、前記露光光より小さいことを特徴とする請求の範囲 1 9 に記載のデバイスの製造方法。

2 1. 前記露光光と前記計測光とは、前記光情報として、光の種類が異なることを特徴とする請求の範囲 1 8 に記載のデバイスの製造方法。

2 2. 前記露光光はパルス光であり、前記計測光は連続光であることを特徴

とする請求の範囲 21 に記載のデバイスの製造方法。

23. 露光光が照射されたマスクのパターンのパターンを基板上に転写する投影光学系の調整方法であって、

前記露光光とは光情報が異なる計測光に所定の波面を発生させる工程と、

前記計測光を前記投影光学系に入射させる工程と、

前記投影光学系を通過した前記計測光の波面に基づいて前記投影光学系の収差を計測する工程と、

計測された収差に基づいて、前記投影光学系を構成するレンズエレメントの位置を調整する工程とを備えることを特徴とする投影光学系の調整方法。

24. 露光光が照射されたマスクのパターンのパターンを基板上に転写する投影光学系を有する露光装置の製造方法であって、

前記露光光とは光情報が異なる計測光に所定の波面を発生させる部材を、前記投影光学系の物体面に配置する工程と、

前記計測光を前記投影光学系に入射させる工程と、

前記投影光学系を通過した前記計測光の波面に基づいて、前記投影光学系の収差を計測する計測器を前記投影光学系の像面に配置する工程と、

計測された収差に基づいて、前記投影光学系の結像特性を調整する工程と、

前記投影光学系の結像特性を調整した後に、前記波面発生部材を前記投影光学系の物体面から外すとともに、前記計測器を前記投影光学系の像面から外すことを特徴とする露光装置の製造方法。

25. 露光光が照射されたマスクのパターンを基板に転写する投影光学系の収差測定装置であって、

前記投影光学系の物体面側に配置され、前記露光光とは光情報が異なる計測光に所定の波面を発生させる波面発生部材と、

前記投影光学系の像面側に配置され、前記投影光学系を通過した前記計測光の波面を計測する計測器とを備えることを特徴とする収差測定装置。

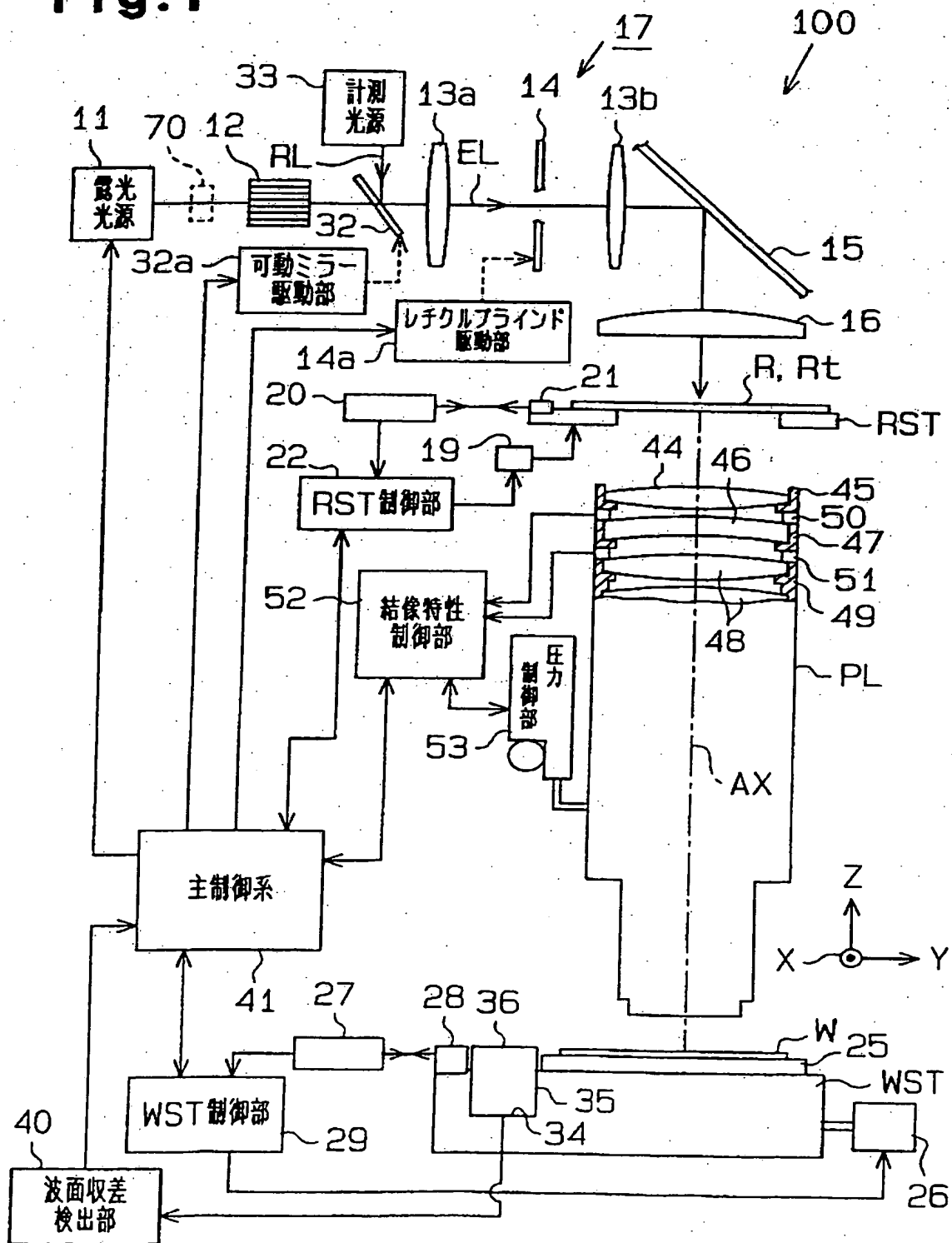
Fig.1

Fig. 2

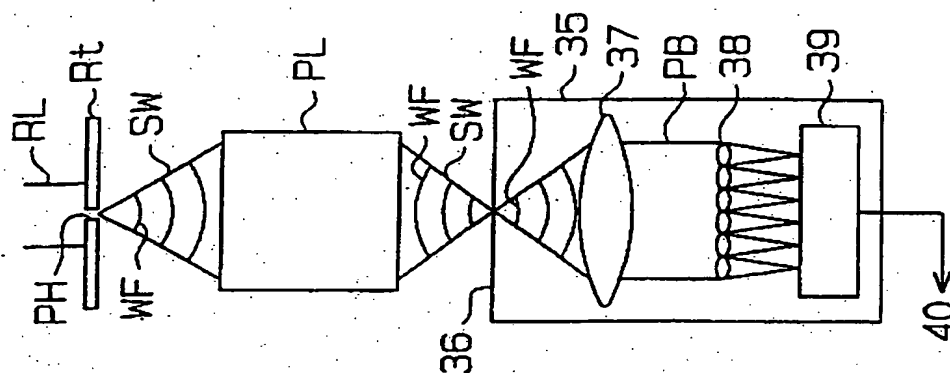


Fig. 3 (a)

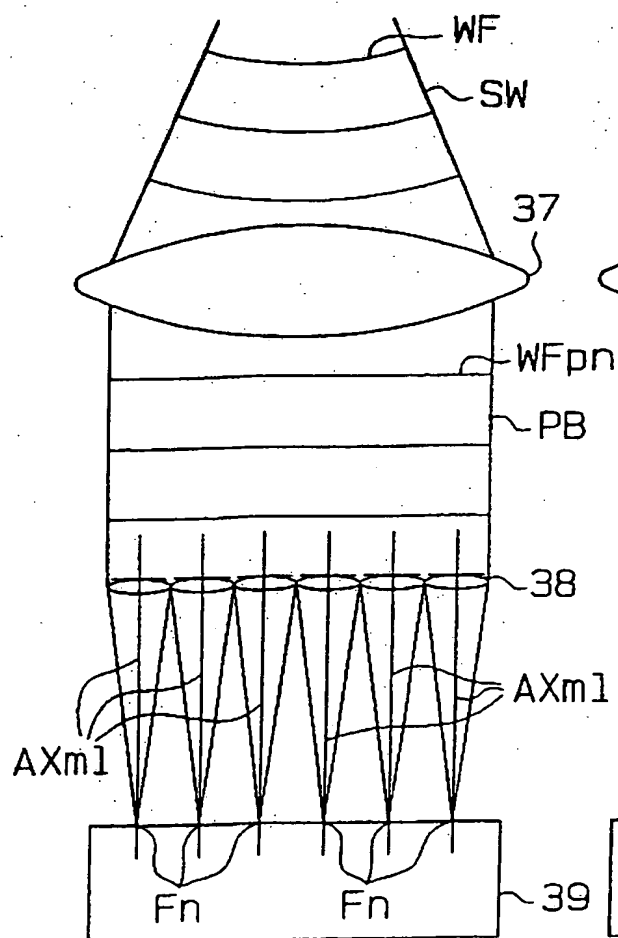
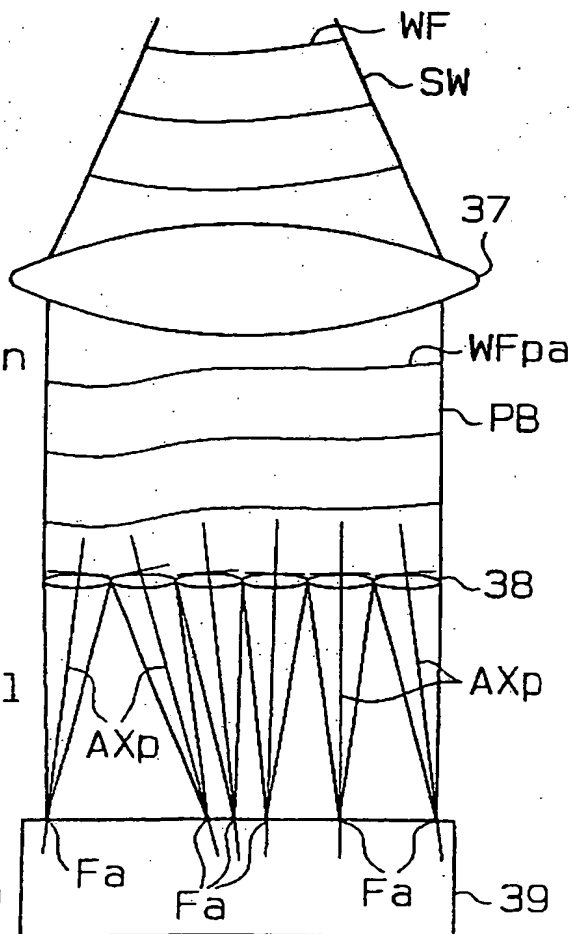


Fig. 3 (b)



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP00/01643

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1926-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 10-281934, A (Nikon Corporation), 23 October, 1998 (23.10.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-25
A	JP, 10-284368, A (Hitachi, Ltd.), 23 October, 1998 (23.10.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-25
A	US, 5424552, A (Nikon Corporation), 13 June, 1995 (13.06.95), Full text; all drawings	1-25
A	& JP, 6-84757, A Full text; all drawings	1-25

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier document but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
14 June, 2000 (14.06.00)

Date of mailing of the international search report
27 June, 2000 (27.06.00)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. H01L21/027, G03F7/20

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl. H01L21/027, G03F7/20

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1926-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP, 10-281934, A (株式会社ニコン) 23. 10月. 1998 (23. 10. 98) 全文、全図 (ファミリーなし)	1-25
A	JP, 10-284368, A (株式会社日立製作所) 23. 10月. 1998 (23. 10. 98) 全文、全図 (ファミリーなし)	1-25

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

14. 06. 00

国際調査報告の発送日

27.06.00

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

藤田 年彦 印

2M

9022

電話番号 03-3581-1101 内線 3274

C (続き) 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	US, 5 4 2 4 5 5 2, A (Nikon Corporation) 13. 6月. 1995 (13. 06. 95) 全文、全図	1-25
A	& JP, 6-8 4 7 5 7, A 全文、全図	1-25

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☒ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.